

Internationaler ETG-Kongress 2019

Das Gesamtsystem im Fokus
der Energiewende

Netzausbau, Power-To-Gas und
Solarstromimporte

Multi-Szenario-Analyse großer
Infrastrukturoptionen für die Dekarbonisierung
des europäischen Energiesystems

Karl-Kiên Cao

Esslingen am Neckar, 08.05.2019



Die Energiesystemanalyse des DLR

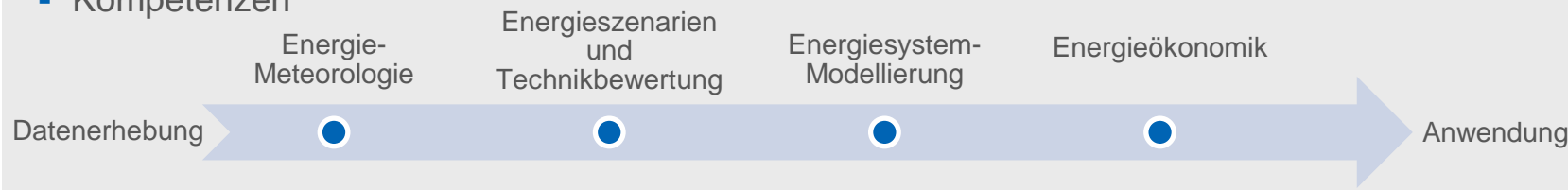
Internationaler ETG-Kongress 2019

8. – 9. Mai 2019 | Stuttgart-Esslingen,
Neckar Forum | www.etg-kongress.com



Energiesystemanalyse:

- Stuttgart und Oldenburg (ca. 60 Mitarbeiter)
- Kompetenzen



Hintergrund: Entwicklung von Langfristszenarien

Internationaler ETG-Kongress 2019

8. – 9. Mai 2019 | Stuttgart-Esslingen,
Neckar Forum | www.etg-kongress.com



Langfristszenarien
zur Nutzung von EE

100% EE mittels
„unterjährlicher
Validierung“

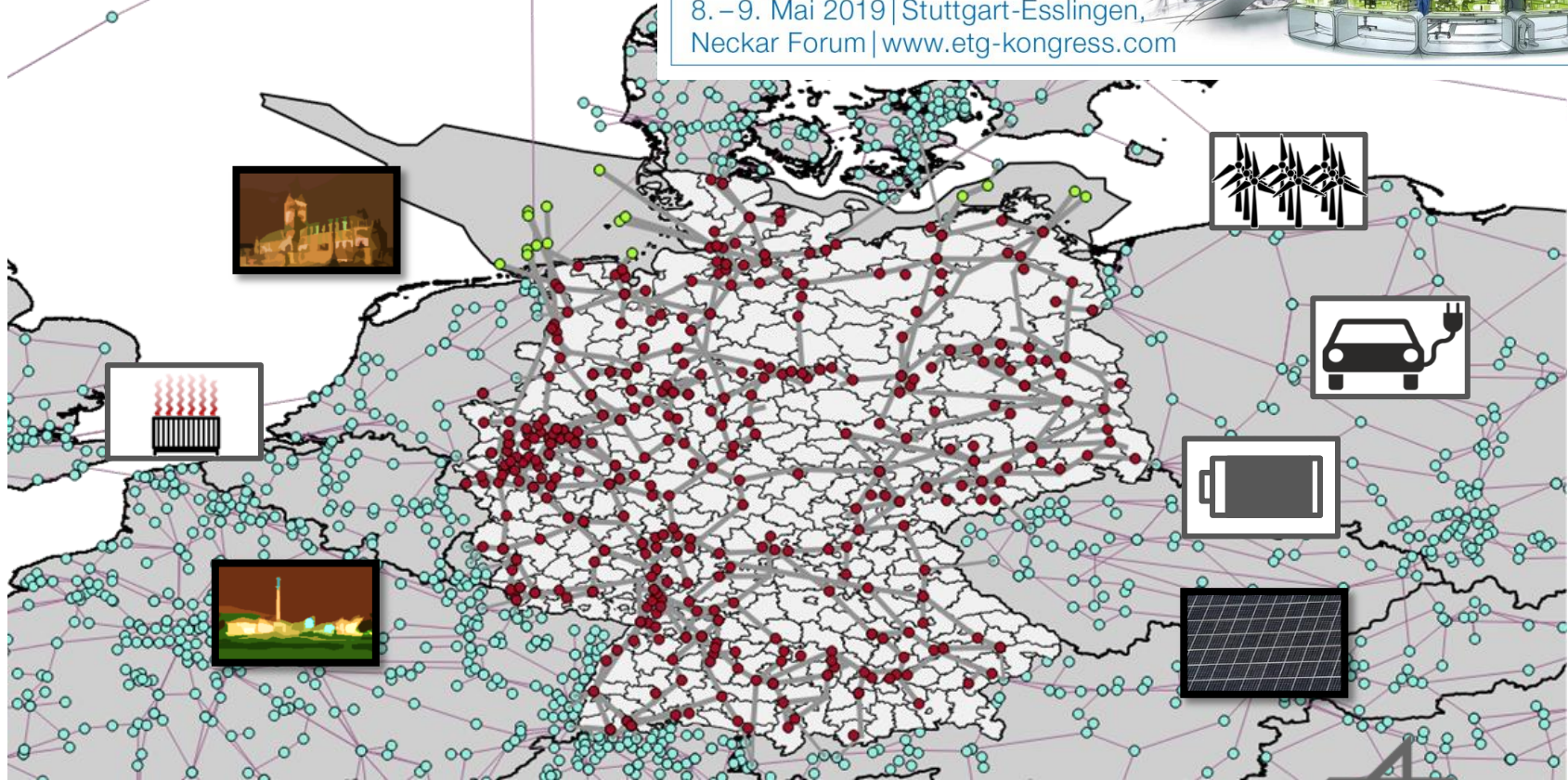
Die Rolle der
Flexibilität

Methodischer Schwerpunkt	Vollständige und konsistente Energiemengengerüste	Räumliche aufgelöste und Energiesystemoptimierung	Sektorenkopplung, Speicherung und Stromübertragung
Räumliche Auflösung	Keine (Deutschland)	Multiple Regionen	Multiple Regionen (Europäische Staaten)
Zeitliche Auflösung	Keine (Ziel-Jahr)	8760 h (Ziel-Jahre)	
Projektabschluss	2004	2010	2018

Die Systemperspektive

Internationaler ETG-Kongress 2019

8. – 9. Mai 2019 | Stuttgart-Esslingen,
Neckar Forum | www.etg-kongress.com





Welchen Beitrag liefern

- Übertragungsnetzausbau
- Solarstromimporte und
- Power-To-Gas

zur Gewährleistung einer

kostengünstigen & sicheren

Energieversorgung?



Szenarien des Europäischen Energieversorgungssystems

unter Berücksichtigung von:

CO₂-Reduktionsziele

-55%

-85%

Sektorenkopplung

Strom

Wärme

Individualverkehr

Ausbau- und Einsatzoptimierung von Flexibilitätsoptionen

5 Strom- und Wärmespeichertechnologien

2 Stromübertragungstechnologien

Gesteuertes Laden von Elektroautos

Lastverschiebung und Lastabwurf

Abregelung

Back-Up-Gasturbinen

Modell: REMix

Internationaler ETG-Kongress 2019

8. – 9. Mai 2019 | Stuttgart-Esslingen,
Neckar Forum | www.etg-kongress.com



Modelltyp

- Optimierung (Systemkosten)

Räumliche Auflösung

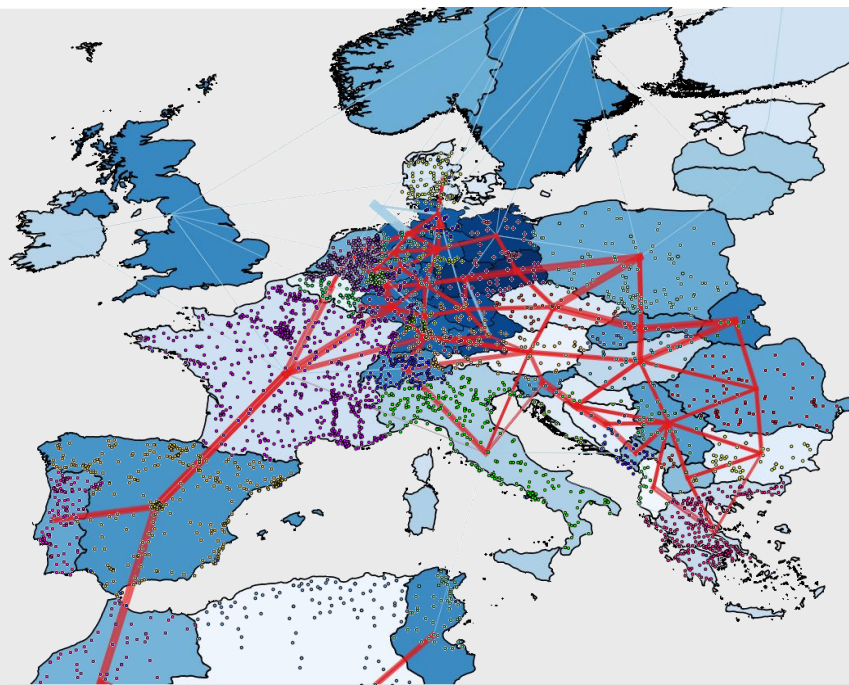
- Aggregiert (58 Regionen)

Zeitliche Auflösung

- Zeitreihen (8760 h)

Technologie Detaillierung

- Wirkungsgrade
- Kosten (Betrieb & Invest)
- >47 Technologien



Szenarien und Varianten

Internationaler ETG-Kongress 2019

8. – 9. Mai 2019 | Stuttgart-Esslingen,
Neckar Forum | www.etg-kongress.com



Reduktionziele

-55%

-85%

Kipppunkte

Wasserstoff-
wirtschaft

Solarstromimporte

Netzscenarien

Trend

Protest

Smart Grid

Super Grid

Methodisch bedingt

Referenzfall

Modellierung von
Lastflüssen

Sensitivitätsfälle

Szenarien und Varianten

Internationaler ETG-Kongress 2019

8. – 9. Mai 2019 | Stuttgart-Esslingen,
Neckar Forum | www.etg-kongress.com



Reduktionziele

-55%

-85%

Kipppunkte

Wasserstoffwirtschaft

Solarstromimporte

Netzszenarien

Trend

Smart Grid

Super Grid

Methodisch bedingt

Referenzfall

Modellierung von
Lastflüssen

Sensitivitätsfälle

Σ : > 50 Szenarien

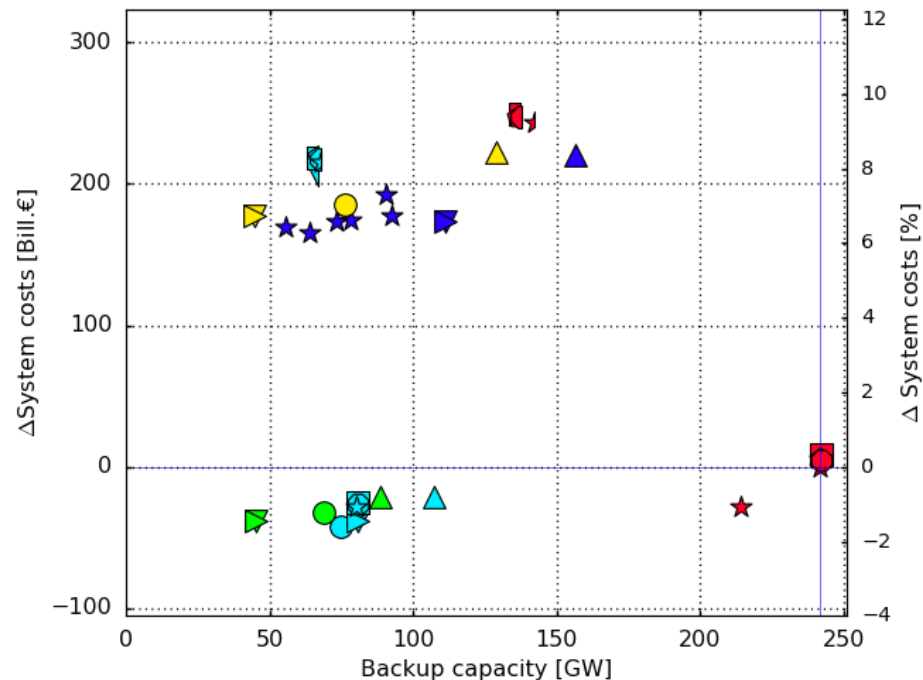
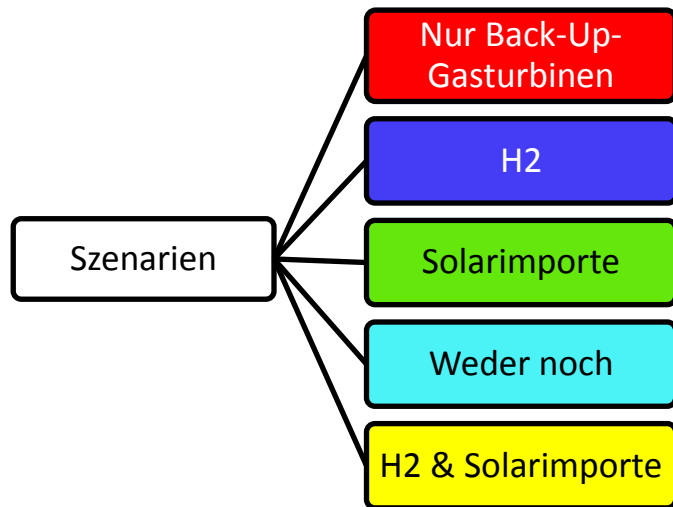


Ergebnisse

Übersicht: Die Rolle der Flexibilität

Internationaler ETG-Kongress 2019

8. – 9. Mai 2019 | Stuttgart-Esslingen,
Neckar Forum | www.etg-kongress.com



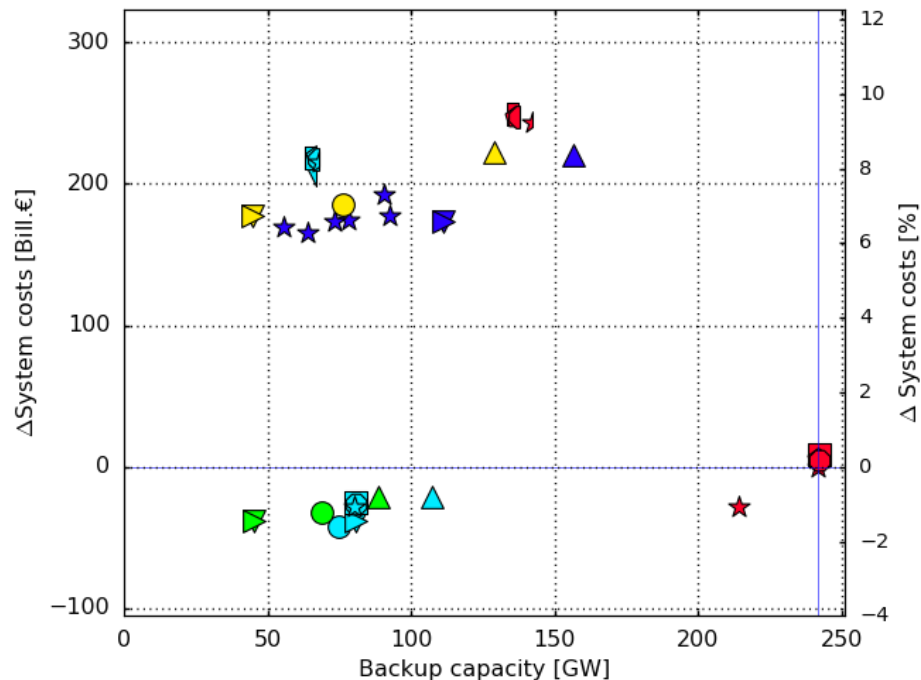
Übersicht: Die Rolle der Flexibilität

Internationaler
ETG-Kongress 2019

8. – 9. Mai 2019 | Stuttgart-Esslingen,
Neckar Forum | www.etg-kongress.com



- (1) Flexibilitätsoptionen bewirken Rückgang von Systemkosten & Back-Up-Kapazitäten
- (2) Zunahme der Systemkosten bei H₂-Nutzung



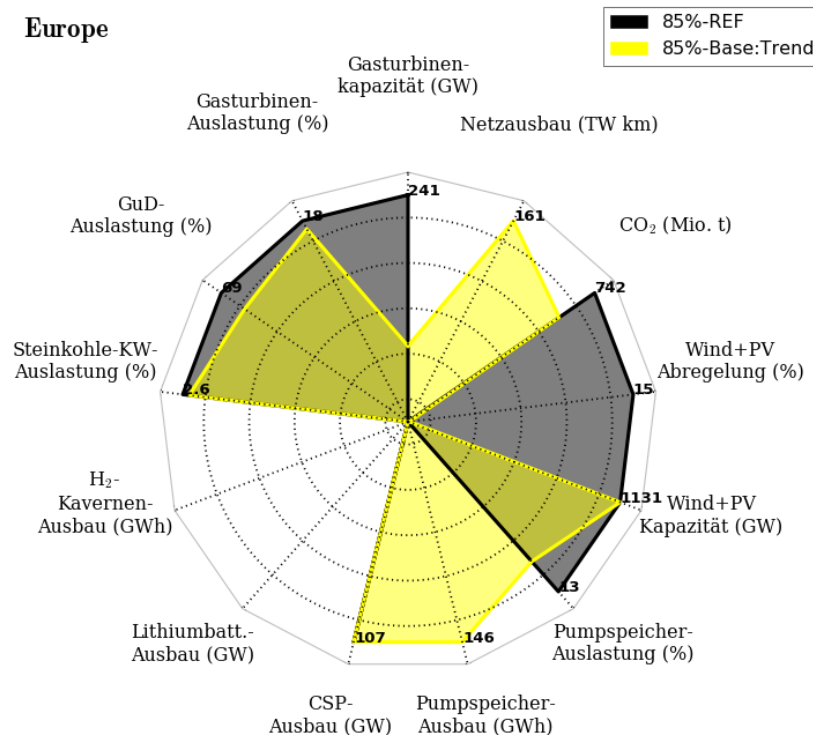
Im Detail: Szenarien im Vergleich

Internationaler ETG-Kongress 2019

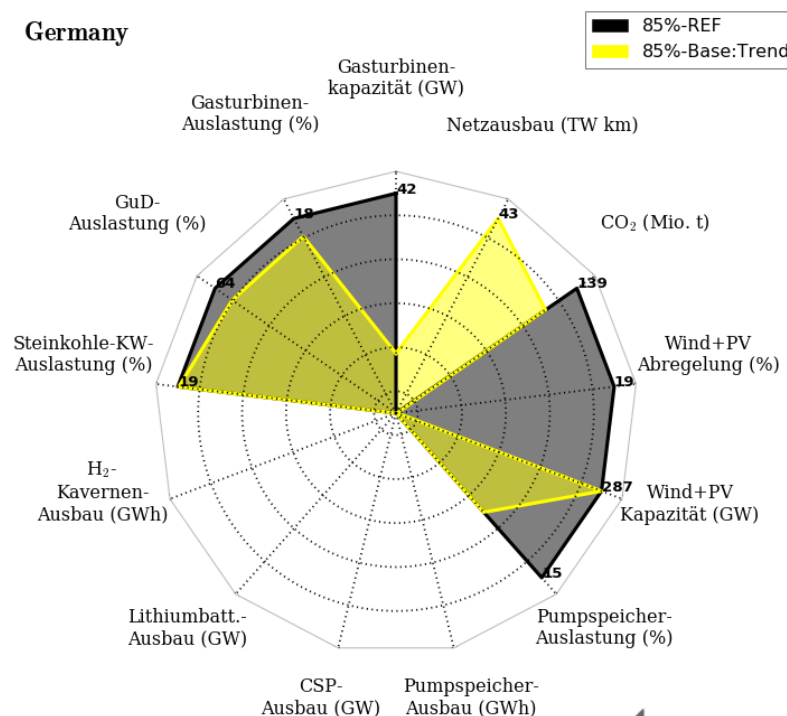
8. – 9. Mai 2019 | Stuttgart-Esslingen,
Neckar Forum | www.etg-kongress.com



Europe



Germany



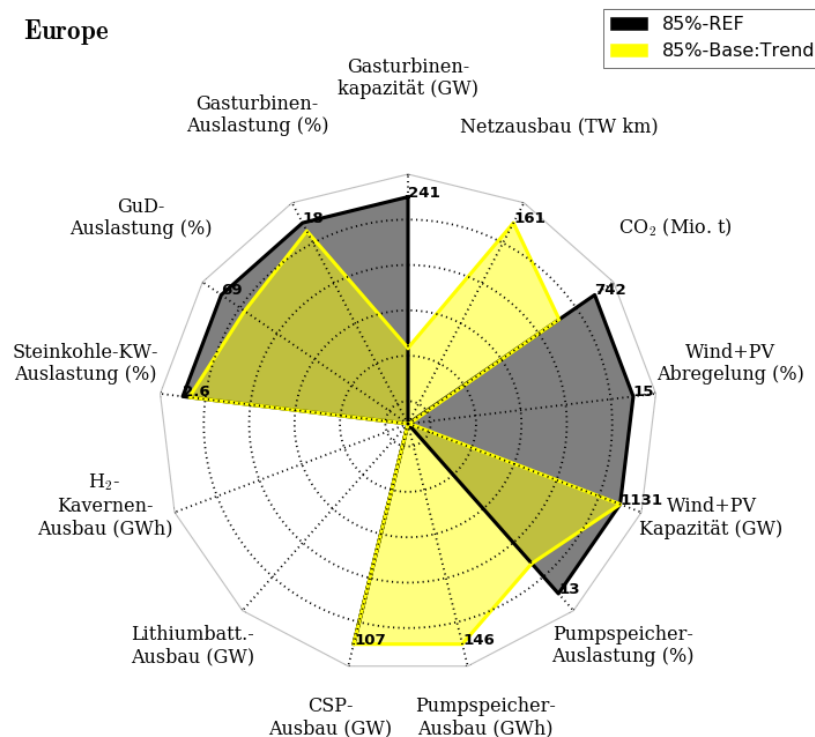
Im Detail: Szenarien im Vergleich

Internationaler ETG-Kongress 2019

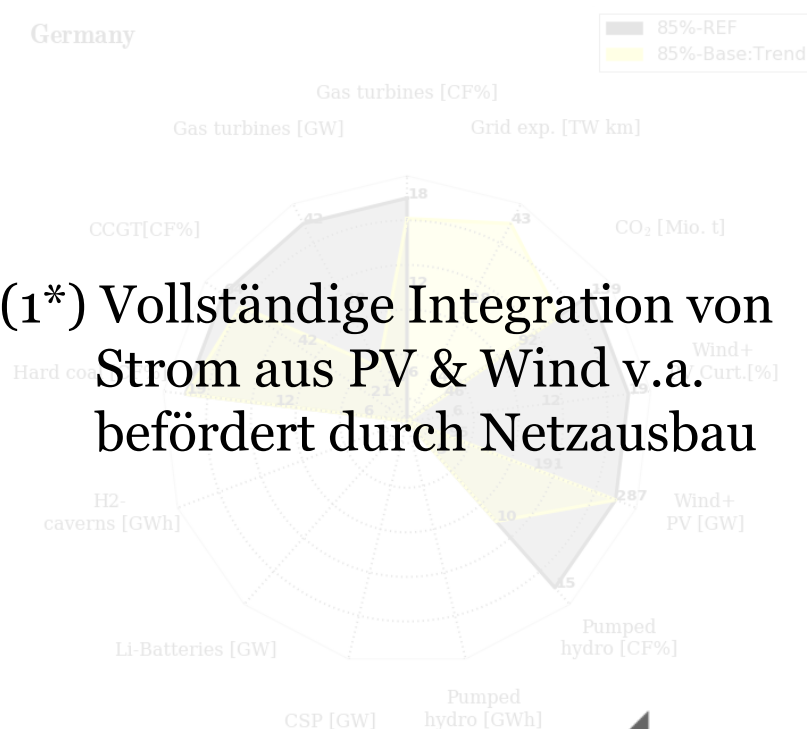
8. – 9. Mai 2019 | Stuttgart-Esslingen,
Neckar Forum | www.etg-kongress.com



Europe



Germany



(1*) Vollständige Integration von
Strom aus PV & Wind v.a.
befördert durch Netzausbau



Im Detail: Szenarien im Vergleich

Internationaler ETG-Kongress 2019

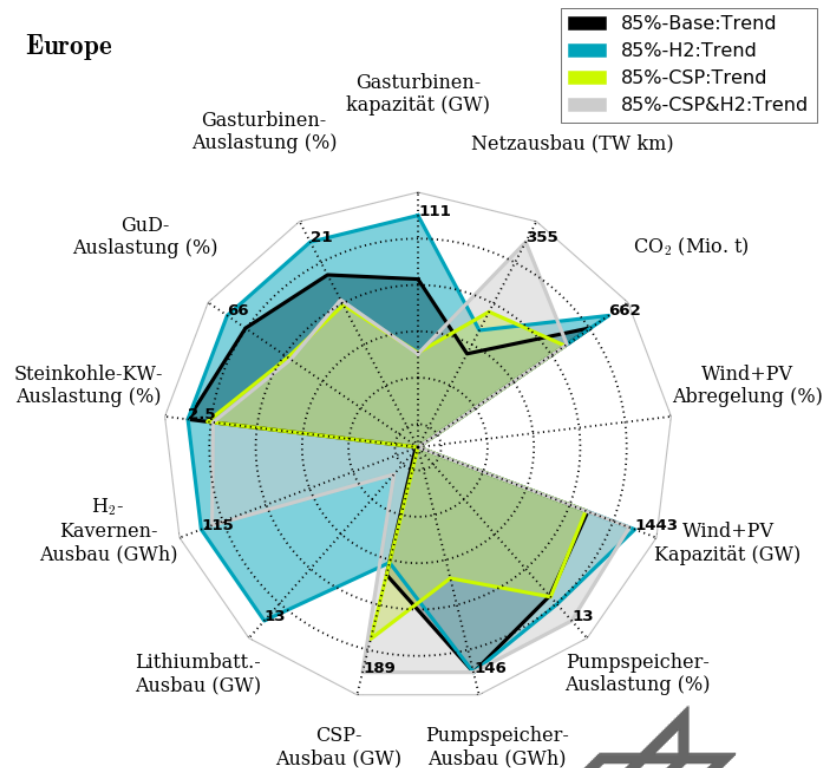
8. – 9. Mai 2019 | Stuttgart-Esslingen,
Neckar Forum | www.etg-kongress.com



(2*) Verstärkte Speicher-Nutzung
in H₂-Szenarien

(3) Solarstromimporte ersetzen
Back-Up-Kapazitäten und
reduzieren CO₂

Europe



Erinnerung: Szenarien und Varianten

Internationaler
ETG-Kongress 2019

8. – 9. Mai 2019 | Stuttgart-Esslingen,
Neckar Forum | www.etg-kongress.com



Reduktionziele

-55%

-85%

Kipppunkte

Wasserstoffwirtschaft

Solarstromimporte

Netzscenarien

Trend

Protest

Smart Grid

Super Grid

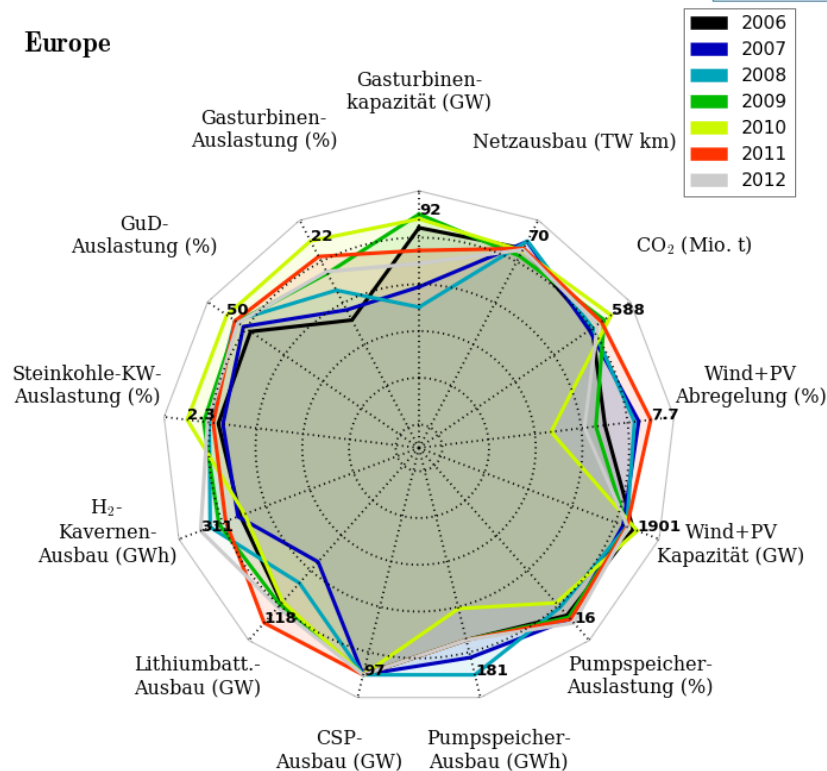
Szenario H₂-Smart: Variation Wetterdaten

Internationaler ETG-Kongress 2019

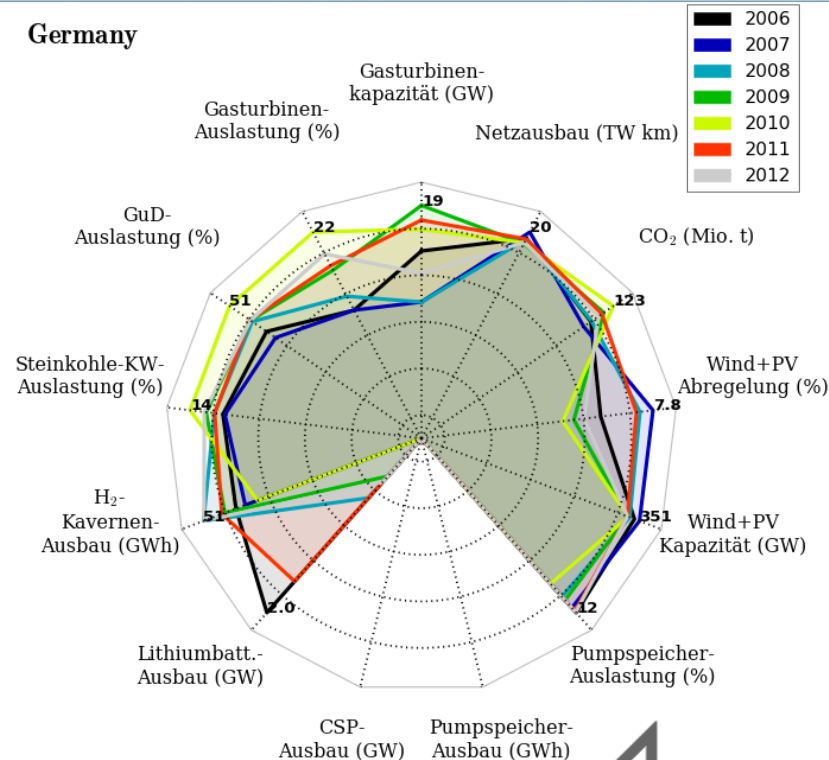
8. – 9. Mai 2019 | Stuttgart-Esslingen,
Neckar Forum | www.etg-kongress.com



Europe



Germany



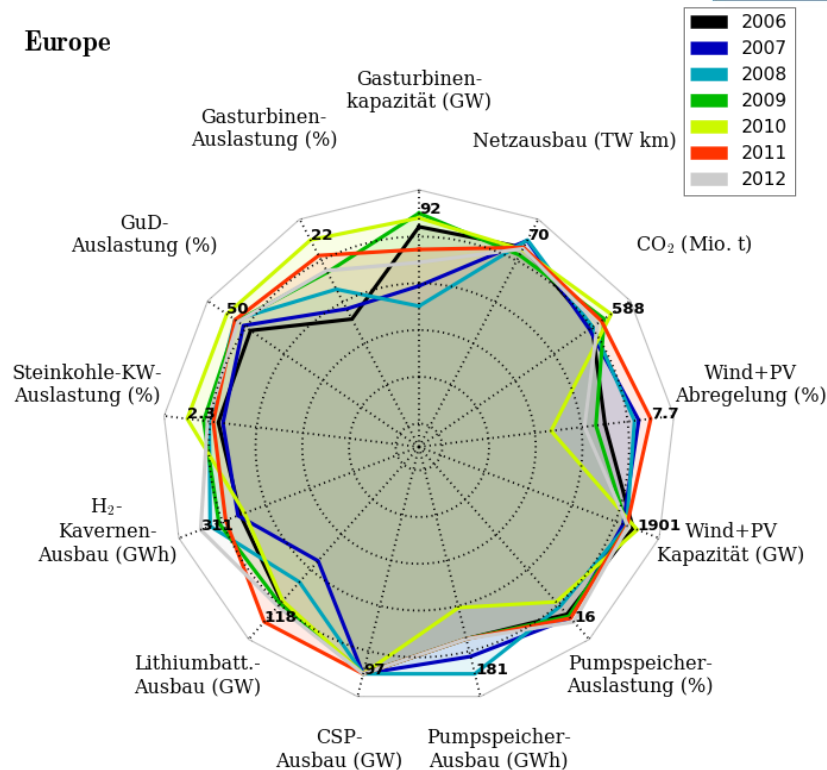
Szenario H₂-Smart: Variation Wetterdaten

Internationaler ETG-Kongress 2019

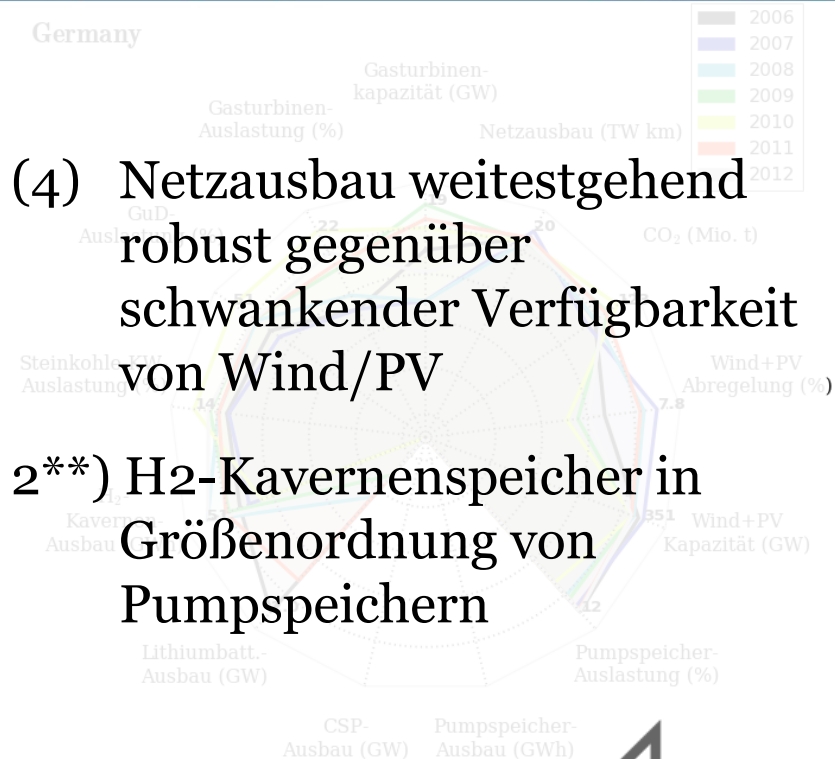
8. – 9. Mai 2019 | Stuttgart-Esslingen,
Neckar Forum | www.etg-kongress.com



Europe



Germany



- (4) Netzausbau weitestgehend robust gegenüber schwankender Verfügbarkeit von Wind/PV
- 2**) H₂-Kavernenspeicher in Größenordnung von Pumpspeichern





- (1) Flexibilitätsoptionen bewirken Rückgang von Systemkosten & Back-Up- Kapazitäten
 - * Vollständige Integration von Strom aus PV & Wind v.a. befördert durch Netzausbau
- (2) H₂-Nutzung bewirkt Zunahme der Systemkosten
 - * bei verstärkter Speicher-Nutzung
 - ** H₂-Kavernenspeicher in Größenordnung von Pumpspeichern
- (3) Solarstromimporte ersetzen Back-Up-Kapazitäten und reduzieren CO₂
- (4) Netzausbau weitestgehend robust gegenüber schwankender Verfügbarkeit von Wind/PV



	Langfristszenarien zur Nutzung von EE		100% EE mittels „unterjährlicher Validierung“	Die Rolle der Flexibilität	Transformations-Pfade und Systemresilienz
Methodischer Schwerpunkt	Vollständige und konsistente Energie-Mengengerüste	Räumliche aufgelöste und Energiesystem-optimierung	Sektorenkopplung, Speicherung und Stromübertragung	Maschinelles Lernen und Einsatz von Supercomputern	
Räumliche Auflösung	Keine	Multiple Regionen (<100)		Multiple Regionen (>500)	
Zeitliche Auflösung	Keine	8760 h (Ziel-Jahre)		n x 8760 h (Pfade)	
Anzahl Szenarien	< 10		< 100		> 1000

Internationaler ETG-Kongress 2019

Vielen Dank für
Ihre Aufmerksamkeit!

Ihr Ansprechpartner:

Karl-Kiên Cao

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
– Energiesystemanalyse -

Tel. +49711 6862-459

karl-kien.cao@dlr.de



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages